

УДК 004.353.254  
DOI 10.47367/0021-3497\_2025\_3\_249

**АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАСШИРЯЮЩИХ  
ИНФОРМАТИВНОСТЬ ИНТЕРАКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ ДИСПЛЕЯ БРАЙЛЯ)**

**ANALYSIS OF PROMISING MATERIALS EXPANDING THE INFORMATIVENESS  
OF INTERACTIVE INTERACTION OF HUMAN-MACHINE SYSTEMS  
(USING THE EXAMPLE OF BRAILLE DISPLAY)**

*А.И. САМСОНОВА<sup>1</sup>, И.А. СУВОРОВ<sup>1</sup>, Р.Р. АЛЛЯМОВ<sup>2</sup>, В.Б. КУЗНЕЦОВ<sup>3</sup>*

*A.I. SAMSONOVA<sup>1</sup>, I.A. SUVOROV<sup>1</sup>, R.R. ALLYAMOV<sup>2</sup>, V.B. KUZNETSOV<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет,

<sup>2</sup>Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

<sup>3</sup>Ивановский государственный политехнический университет)

(<sup>1</sup>Ivanovo State University of Chemistry and Technology,

<sup>2</sup>Ivanovo Fire and Rescue Academy

of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense,

<sup>3</sup>Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: alenyshka.2016.samsonova@mail.ru, unsuvorov@gmail.com, Harley-davison47@mail.ru,  
kuznetsovtex@gmail.com

*В работе рассматриваются перспективы применения ферромагнитных жидкостей при построении ячеек тактильных дисплеев Брайля для персональных компьютеров. Ферромагнитные жидкости обладают уникальными магнитными свойствами, которые могут быть использованы в создании инновационных устройств, предназначенных для людей с ограниченным зрением. Рассмотрены основные характеристики изучаемого материала, их*

*преимущества и недостатки в контексте создания генерируемых устройств. Акцент сделан на технологических особенностях и потенциале применения ферромагнитных жидкостей в тактильных дисплеях Брайля. Исследование включает анализ эффективности данных материалов, их возможности воспроизведения точной тактильной обратной связи и обеспечения комфортного взаимодействия с дисплеем для пользователей. Результаты исследования позволяют выявить перспективные направления развития технологий создания тактильных дисплеев Брайля с целью повышения доступности информации для людей с нарушениями зрения. Проведенное исследование направлено на идентификацию перспектив создания доступных и эффективных технологий, обеспечивающих равные возможности для всех пользователей независимо от их физических способностей.*

*The paper examines the prospects for using ferromagnetic fluids in the construction of tactile Braille display cells for tablet computers. Ferromagnetic liquids have unique magnetic properties that can be used in the creation of innovative devices designed for people with limited vision. The main characteristics of the material being studied, their advantages and disadvantages in the context of creating generated devices are considered. The emphasis is on the technological features and potential of using ferromagnetic fluids in tactile Braille displays. The study includes an analysis of the effectiveness of these materials, their ability to reproduce accurate haptic feedback and provide a comfortable interaction with the display for users. The results of the study make it possible to identify promising directions for the development of technologies for creating tactile Braille displays in order to increase the accessibility of information for people with visual impairments. The conducted research is aimed at identifying prospects for creating accessible and effective technologies that provide equal opportunities for all users, regardless of their physical abilities.*

**Ключевые слова:** дисплей Брайля, ферромагнитные жидкости, инновационные устройства, тактильные ощущения, интерактивный обмен информацией.

**Keywords:** Braille display, ferromagnetic fluids, innovative devices, tactile sensations, interactive information exchange.

Тактильные дисплеи Брайля являются важным средством расширения возможностей получения информации людьми, не обладающими полноценным зрением. Интерактивность таких устройств определяется способностью активно реагировать на действия пользователя. В современных системах интерактивность играет ключевую роль в обеспечении положительного пользовательского опыта. Устройство должно иметь возможность воспринимать входные данные от пользователя, такие как прикосновения, голосовые команды или жесты, и мгновенно предоставлять соответствующую обратную связь. В контексте

устройств, используемых людьми с нарушениями зрения, подобное взаимодействие требует использования различных механик и алгоритмов обработки данных, которые позволяют устройству адаптироваться к действиям пользователя в реальном времени. Важным аспектом интерактивности устройства является надежность и безопасность. Интерактивные системы должны быть разработаны с учетом строгих стандартов безопасности, а надежность устройства означает, что оно должно функционировать без сбоев в любых условиях, обеспечивая бесперебойное взаимодействие пользователя с системой. Таким образом, разработка

интерактивных устройств требует всестороннего подхода, учитывающего как технические, так и этические аспекты.

Предназначение тактильных дисплеев Брайля заключается прежде всего в обеспечении доступа к информации и образованию для людей с ограниченным зрением. Благодаря специальному шрифту и уникальному способу отображения информации люди с ограниченным зрением получают возможность пользоваться интернетом и мобильными устройствами, что способствует повышению их самостоятельности и уровня интеграции в общество. Развитие и совершенствование таких технологий имеет большое значение для обеспечения равенства возможностей и инклюзивности населения.

Цель исследования заключается в анализе перспектив применения ферромагнитных жидкостей при производстве тактильных дисплеев Брайля.

#### *Результаты и их обсуждение*

Одними из перспективных веществ, используемых в технологии построения дисплеев, отображающих символы Брайля на поверхности, выступают ферромагнитные жидкости.

Ферромагнитные жидкости представляют собой особый класс материалов, обладающих свойствами одновременно жидкости и магнита [1]. Ферромагнитная жидкость – это коллоидная дисперсная система, состоящая из наночастиц ферромагнитного материала, равномерно распределенных в немагнитном носителе, таком как вода или органические растворители.

Равномерное распределение магниточастиц достигается путем воздействия магнитного поля. Когда жидкость находится в состоянии покоя, эти частицы могут скапливаться в определенных областях. Однако при наличии внешнего воздействия магнитного поля магниточастицы начинают перемещаться и равномерно распределяться по объему жидкости. Процесс равномерного распределения магниточастиц происходит по принципу диффузии. При этом частицы перемещаются от областей с более высокой концентрацией к областям с более низкой концентрацией, что в конечном итоге при-

водит к равномерному распределению по объему ферромагнитной жидкости.

Стоит отметить, что ресурсозатратность обозначенного процесса в режиме повседневной деятельности является относительно минимальной. Наибольшая потребность в трудовых ресурсах возникает только на этапе установки и калибровки соответствующего оборудования, генерирующего магнитное поле, контрольных датчиков и системы управления. Сам процесс равномерного распределения магниточастиц в первую очередь требует временных ресурсов для контроля параметров, таких как интенсивность ферромагнитного поля, концентрация магниточастиц, их размеры и свойства. Временные и трудовые затраты находятся в прямой зависимости от физико-химических особенностей жидкости, взаимодействия частиц с ней и стенками емкости, а также возможного наличия частиц загрязнения. Экономические затраты также находятся на приемлемом уровне, т. к. главным образом требуются на электроэнергию для обеспечения магнитного поля и на техническое обслуживание оборудования, в том числе осуществляющее контрольные измерения. В практическом применении ферромагнитные жидкости используются в различных областях, таких как электроника и производство цифровых носителей, благодаря уникальным свойствам, а именно возможности реагировать на магнитные поля, стабильности и способности менять свою текучесть под воздействием внешних магнитных полей.

Одним из главных преимуществ потенциального применения ферромагнитной жидкости в дисплеях для людей с ограниченными возможностями зрения является способность таких жидкостей изменять свою форму под действием магнитного поля. Это позволяет создавать тактильные изображения и текст, которые могут быть ощущены пальцами. Для людей с ограниченным зрением такая возможность является ключевой в обеспечении доступа к информации и коммуникации.

Кроме того, ферромагнитные жидкости обладают высокой чувствительностью к магнитному полю, что позволяет создавать

дисплеи с высоким разрешением и контрастностью. Это особенно важно для людей с ограниченным зрением, поскольку им требуется более четкое и различимое тактильное изображение для полноценного и комфортного восприятия информации.

Другим важным преимуществом ферромагнитной жидкости является ее относительная низкая стоимость и простота производства, что делает устройства с ее применением доступными для широкого круга потребителей, включая людей с ограниченными возможностями [2].

Дисплеи Брайля на основе ферромагнитной жидкости (FMF) представляют собой технологию, которая обеспечит людям с ограниченным зрением возможность получения информации с использованием тактильного шрифта. FMF – это специальная жидкость, содержащая микроскопические частицы ферромагнетика, которые будут способны менять свою тактильно-оптическую характеристику под воздействием магнитного поля, что позволит пользователям с ограниченным зрением не только читать текст, но и осваивать более сложные структуры, например графики и карты, и лучше ориентироваться в информационном пространстве [3].

В работе [4] рассмотрены особенности технологической схемы изготовления дисплеев Брайля на основе FMF, состоящих из ячеек знакоместа, в которых магнитные наночастицы ферромагнитной жидкости располагаются между двумя электродами, создавая таким образом выпуклые и вогнутые точки в зависимости от направления магнитного поля. При применении электрического напряжения к электродам направление магнитного поля меняется, что приводит к изменению формы точек и, следовательно, к появлению тактильного ощущения для человека.

Дисплей состоит из ячеек Брайля, которые представляют собой пластину с дренажными отверстиями, через которые формируется символ. Каждый символ состоит из 8 точек, расположенных в двух вертикальных рядах, которые могут быть поднятыми или опущенными. Если точки подняты, то прикосновение пальцев к ячейке

дает возможность читать соответствующий символ Брайля. Каждый символ в языке Брайля представляется комбинацией точек, которые подняты (выпуклы) или опущены (вогнуты) в определенной последовательности.

Технические характеристики дисплеев Брайля на основе FMF приобретут ряд особенностей:

1. Разрешение: дисплеи Брайля на основе FMF отметятся высоким разрешением, позволяющим воспроизводить четкие и детализированные тактильные изображения. Это повысит качество восприятия текста и графики слабовидящими пользователями.

2. Скорость обновления: благодаря свойствам ферромагнитной жидкости [5] дисплеи Брайля на основе FMF обеспечат быстрое переключение между символами и страницами, что повысит скорость чтения и доступа к информации.

3. Энергоэффективность: в рамках технологии FMF допустимо создавать дисплеи с низким энергопотреблением, что увеличит автономность устройств и уменьшит частоту подзарядки системы электропитания, которая может привести к снижению износа аккумуляторов, и, следовательно, увеличит срок службы устройств и сделает их более надежными и экономичными.

4. Гибкость и мобильность: дисплеи Брайля на основе FMF могут быть изготовлены в виде компактных и гибких устройств, что сделает их удобными для пользователей, имеющих различные физические ограничения, благодаря возможности легко подстраиваться под их прикладные нужды. Это качество позволяет обеспечить индивидуальный подход к каждому пользователю. Устройства беспрепятственно адаптируются к различным физическим дефектам пользователей, что улучшает качество взаимодействия.

5. Интеграция с другими технологиями: благодаря своей универсальности [6] дисплеи Брайля на основе FMF смогут быть интегрированы с другими устройствами и программным обеспечением, что расширит их потенциальные функциональные возможности.

При производстве дисплеев Брайля и персональных компьютеров, использующих ферромагнитные жидкости, важно обеспечить высокую точность и надежность отображения информации для людей с нарушениями зрения, поэтому оптимальным для использования в гранулах в ферромагнитных жидкостях металлом станет железо (Fe) или кобальт (Co) по причине присущих им высоких магнитных восприимчивости и проницаемости, поскольку данные свойства способствуют улучшению магнитных свойств жидкости и, как следствие, качеству отображаемой информации.

Дополнительной важной характеристикой выступает электромагнитная совместимость. С точки зрения безопасного использования дисплеев Брайля на основе ферромагнитных жидкостей следует учитывать вопросы электромагнитной совместимости, важные для предотвращения возможных помех, таких как электромагнитные интерференции, которые могут возникнуть из-за взаимодействия устройства с другими электронными приборами. Радиопомехи, электростатические разряды и прочие виды электромагнитного излучения могут нарушить правильную работу дисплея или любого другого близко расположенного электронного оборудования и привести к риску взаимодействия магнитного поля с имплантированными медицинскими устройствами пользователей, например с кардиостимулятором, и последующему сбою в работе данных устройств. В этой связи железо (Fe) и кобальт (Co) выгодно отличаются от менее дорогостоящих металлов, обладающих магнитными свойствами, таких как никель (Ni), который, являясь более доступным металлом, в силу собственных характеристик не способен обеспечить такой же уровень безопасности при эксплуатации дисплеев Брайля.

Для создания дисплеев Брайля на планшетах, где применяются ферромагнетики, могут быть использованы феррожидкости, содержащие мелкие частицы ферромагнетиков и специальные добавки. В коллоидных системах частицы ферромагнетиков равномерно распределяются в жидкости благодаря наличию стабилизирующих

агентов, таких как поверхностно-активные вещества, которые обеспечивают стабильность через адсорбцию на поверхности частиц. Правильно подобранные стабилизирующие агенты значительно упрощают процесс равномерного распределения частиц, и, хотя он может быть трудоемким в случае подбора оптимальных параметров, стабильность системы во времени оправдывает затраты. Системы частиц в жидкости склонны к расслоению из-за гравитационного воздействия и агрегации частиц, однако стабилизация за счет поверхностно-активных веществ создает препятствие для этого, обеспечивая устойчивость коллоидных систем во времени.

Феррожидкости обладают высокой магнитной чувствительностью и способностью изменять свою вязкость под воздействием магнитного поля, что является важным критерием, поскольку при создании дисплеев Брайля на основе ферромагнитной жидкости необходимо обеспечить точную реакцию на изменения магнитного поля, чтобы создавать четкие и читаемые символы на дисплее Брайля. С экономической точки зрения при выборе жидкости стоит учитывать ее стабильность и отсутствие свойства высыхания, чтобы обеспечить долговечность и надежность работы дисплея. Заявленным требованиям отвечают феррожидкости на основе органических растворов, обладающие лучшей магнитной чувствительностью и способностью быстро реагировать на изменения магнитного поля. Жидкости на основе воды также могут быть использованы в качестве среды для дисплеев Брайля с ферромагнетиками. Однако они являются менее эффективными при реагировании на изменения магнитного поля по сравнению с органическими растворами. Кроме того, для них характерны меньшая стабильность и склонность к высыханию, вызванные химическими свойствами жидкости на основе воды, чтобы приведет к снижению надежности работы дисплея. Феррожидкости на основе органических растворов, содержащих феррофлюиды, демонстрируют высокую магнитную чувствительность и быструю реакцию на изменения магнитного поля. Орга-

нические растворы, такие как керосин или минеральные масла, могут быть использованы для создания феррожидкостей с оптимальной магнитной реакцией.

Таким образом, для достижения контрастности высокого уровня, быстрой и точной реакции на изменения магнитного поля рекомендуется использовать феррожидкости на основе органических растворов, содержащих дисперсию наночастиц ферромагнетиков, таких как оксиды железа или кобальта. Данные частицы способны быстро и точно перемещаться под воздействием магнитного поля, что обеспечит высокую чувствительность на дисплее Брайля. Технические характеристики дисплеев Брайля на основе ферромагнитной жидкости квалифицируют их как эффективное и инновационное средство обеспечения доступа к информации для людей с ограниченным зрением. Их высокое разрешение, скорость обновления, энергоэффективность и гибкость подтверждают их значение как инструмента для повышения качества жизни и интеграции этой категории пользователей в современное информационное общество.

Ферромагнитная жидкость может иметь определенные недостатки как материал для изготовления дисплеев планшетов, способных моделировать дисплей Брайля. В первую очередь к ним относится сложность технологии. Дело в том, что создание дисплеев на основе ферромагнитных жидкостей требует реализации специализированных технологических процессов и оборудования, включающих в себя создание прецизионных механизмов, способных управлять частицами ферромагнитной жидкости, что может вызывать трудности. Дополнительной сложностью выступит необходимость интеграции дисплея с другими компонентами устройства, такими как процессор, память, батарея и интерфейсы взаимодействия с пользователем, для создания полноценного устройства планшета, обладающего функцией дисплея Брайля. Отдельным недостатком ферромагнитных жидкостей является их склонность к расслоению, то есть отделению магнитных частиц от жидкости. Это может привести к потере

равномерности распределения частиц и, как следствие, к ухудшению качества отображаемой дисплеем Брайля информации. Срок службы планшетных компьютеров с дисплеем Брайля на основе ферромагнитных жидкостей определить достаточно сложно, так как он может сильно варьироваться в зависимости от условий эксплуатации, качества компонентов, технического сервиса и других факторов. Данный недостаток может быть нейтрализован путем использования стабилизаторов для предотвращения расслоения жидкости в устройствах с ферромагнитными жидкостями, таких как поверхностно-активные вещества, имеющие способность снижать поверхностное натяжение жидкости, что способствует равномерному распределению магнитных частиц на экране устройства и предотвращению их отделения. Примерами таких веществ могут служить пеганы, альгинаты, поливинилпирролидон и другие. Данный метод выступит оптимальным решением для предотвращения расслоения жидкости в дисплеях Брайля с ферромагнитными жидкостями.

Использование ферромагнитных жидкостей в аппаратно-программных комплексах для чтения шрифта Брайля позволит создавать тактильные изображения и тексты с высокой точностью и детализацией. Регулирование магнитного поля позволит контролировать распределение жидкости, создавая тактильные отклики требуемых параметров с различными уровнями силы и давления, чтобы передать пользователю максимально точные ощущения при чтении шрифта Брайля, дополнительно оказывая влияние на скорость перемещения жидкости и другие характеристики [7].

Особое значение имеет практически реализуемый при работе с ферромагнитными жидкостями туннельный эффект [8]. С его помощью открывается возможность добиться электростатического взаимодействия между частицами ферромагнитной жидкости и поверхностью дисплея, что приведет к изменению тактильных ощущений на дисплее в широком диапазоне [9].

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования выявлено, что ферромагнитные жидкости обладают значительным потенциалом для использования в качестве основы для построения тактильных дисплеев Брайля. Ферромагнетики обладают высокой адаптивностью и могут быть интегрированы в различные конструкции тактильных дисплеев, предоставляя пользователям возможность более комфортного и эффективного восприятия информации.

Разработка и внедрение таких устройств способствует социальной интеграции, обеспечивая более широкий доступ к информации и коммуникационным средствам, что существенно повысит уровень жизни людей с ограниченными возможностями зрения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аллямов Р.Р., Самсонова А.И., Суворов И.А. Использование ферромагнитных жидкостей в составе защитной одежды спасательных формирований // Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). Иваново, 2023. № 1. С. 49...51. – EDN NHLYYY.

2. Дильмиева Э.Т., Иржак А.В., Каманцев А.П. Быстрозакаленные ленты ферромагнетиков с памятью формы для магнитоуправляемых микромеханических устройств // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62, № 7. С. 703...713. – EDN YTMBLR.

3. Каманцев А.П., Бутвина Л.Н., Амиров А.А. Сравнение оптических методов измерения магнетокалорического эффекта // Фотон-экспресс. 2023. № 6(190). С. 302...303 – EDN ZLNUDO.

4. Самсонова А.И., Константинов Е.С. Использование ферромагнитной жидкости в ячейке знако-место для построения дисплея Брайля и изучение ее свойств // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2023. № 2(56). С. 89...95. – EDN DMQCBX.

5. Бражчик П.А., Красноперов Е.П. Визуализация проникновения магнитного поля при обрыве экранирующего тока и его восстановления в импульсно намагниченном YBCO кольце // Авиация и космонавтика: тезисы 19-й Международ. конф. М.: Изд-во "Перо", 2020. С. 226...227. – EDN KIURNA.

6. Бесшапошников В.И., Логинова Е.А., Ковалева Н.Е. и др. Проектирование и прогнозирование свойств материалов для защиты от химически агрессивных сред // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 87...94.

7. Машкин В.А., Забелин В.О. Разработка аппаратно-программного комплекса для чтения электронных текстов на шрифте Брайля // Энергетика в современном мире: VIII Междунар. заоч. науч.-практ. конф. Чита: Забайкальский гос. ун-т, 2017. С. 159...163. – EDN YVFWQK.

8. Караитин Е.А. Оптимизация параметров системы ферромагнетик/туннельный барьер/неколлинearный ферромагнетик для генерации электромагнитного излучения // Физика твердого тела. 2021. Т. 63, № 9. С. 1284...1289. – DOI 10.21883/FIT.2021.09.51254.16H. – EDN DLKTCF.

9. Бобко Р.А., Чепинский С.А. Модель конструкции мультистрочного дисплея Брайля // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20, № 5. С. 761...766. – DOI 10.17586/2226-1494-2020-20-5-761-766. – EDN HLOIVI.

## REFERENCES

1. Allyamov R.R., Samsonova A.I., Suvorov I.A. The use of ferromagnetic liquids in the composition of protective clothing of rescue units // Physics of fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (SMARTEX). Ivanovo, 2023. No. 1. P. 49...51. – EDN NHLYYY.

2. Dilmieva E.T., Irzhak A.V., Kamantsev A.P. Rapidly quenched ferromagnetic tapes with shape memory for magnetically controlled micro-mechanical devices // Radio engineering and electronics. 2017. T. 62, No. 7. P. 703...713. – EDN YTMBLR.

3. Kamantsev A.P., Butvina L.N., Amirov A.A. Comparison of optical methods for measuring the magnetocaloric effect // Photon-express. 2023. No. 6(190). P. 302...303 – EDN ZLNUDO.

4. Samsonova A.I., Konstantinov E.S. The use of ferromagnetic fluid in a familiar cell for constructing a Braille display and the study of its properties // News of higher educational institutions. Series: Economics, finance and production management. 2023. No. 2(56). P. 89...95. – EDN DMQCBX.

5. Brazhnik P.A., Krasnoperov E.P. Visualization of magnetic field penetration during a break in the shielding current and its restoration in a pulsed magnetized YBCO ring // Aviation and Cosmonautics: 19th International Conference: Abstracts 19th International Conference. Moscow: Pero Publishing House, 2020. P. 226...227. – EDN KIURNA.

6. Besshaposhnikova V.I., Loginova E.A., Kovaleva N.E. etc. Design and prediction of material properties for protection against chemically aggressive environments // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 3 (405). P. 87...94.

7. Mashkin V.A., Zabelin V.O. Development of a hardware-software complex for reading electronic texts in Braille // Energy in the modern world: VIII International correspondence scientific and practical conference. Chita: Transbaikalsk State University, 2017. P. 159...163. – EDN YVFWQK.

8. *Karashtin E.A.* Optimization of the parameters of the ferromagnet/tunnel barrier/non-collinear ferromagnet system for generating electromagnetic radiation // *Solid State Physics*. 2021. Volume 63, No 9. P. 1284...1289. – DOI 10.21883/FTT.2021.09.51254.16H. – EDN DLKTCF

9. *Bobko R.A., Chepinsky S.A.* Model of the design of a multiline Braille display // *Scientific and technical*

*bulletin of information technologies, mechanics and optics*. 2020. Volume 20, No. 5. P. 761...766. – DOI 10.17586/2226-1494-2020-20-5-761-766. – EDN HLOIVI.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и цифровой экономики ИГХТУ. Поступила 10.10.24.

---